

# Kantelen bij vrachtwagens

J.P.M. Tromp

Met financiële bijdrage van:

**VERBOND VAN VERZEKERAARS**



# Kantelen bij vrachtwagens

*Een literatuurstudie in opdracht van het Verbond van Verzekeraars*

R-97-30  
J.P.M. Tromp  
Leidschendam, 1997  
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

## Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-97-30  
Titel: Kantelen bij vrachtwagens  
Ondertitel: Een literatuurstudie in opdracht van het Verbond van Verzekeraars  
Auteur(s): J.P.M. Tromp  
Onderzoeksmanager: Drs. P.C. Noordzij  
Projectnummer SWOV: 70.135  
Opdrachtgever: Het onderzoek waarvan dit rapport verslag doet is mede mogelijk gemaakt door de jaarlijkse financiële bijdrage van het Verbond van Verzekeraars.

Trefwoord(en): Overturning (veh), lorry, vehicle handling, road network, wind, driver, Netherlands, Europe, USA.

Projectinhoud: In deze rapportage wordt aan de hand van de literatuur nagegaan hoe vaak het voorkomt dat vrachtwagens kantelen, wat hiervan de oorzaken zijn en welke maatregelen tegen dit kantelen genomen kunnen worden.

Aantal pagina's: 28 pp. + 3 pp.  
Prijs: f 20,-  
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 1997

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV  
Postbus 1090  
2260 BB Leidschendam  
Telefoon 070-3209323  
Telefax 070-3201261

## Samenvatting

In deze rapportage wordt aan de hand van de literatuur nagegaan hoe vaak het voorkomt dat vrachtwagens kantelen, wat hiervan de oorzaken zijn en welke maatregelen tegen dit kantelen genomen kunnen worden. Het onderzoek is in hoofdzaak gebaseerd op literatuur uit West-Europa en de Verenigde Staten.

In *Europa* komt kantelen voor bij 3 tot 10% van alle ongevallen met vrachtwagens. Bij vervoer van gevaarlijke stoffen heeft ongeveer één derde te maken met kantelen (voornamelijk trekker-opleggers).

In de *Verenigde Staten* komt kantelen voor bij 4 tot 9% van alle ongevallen met vrachtwagens (inclusief UMS-ongevallen), bij één derde van de eenzijdige ongevallen met vrachtwagens en bij 15% van de ongevallen met vrachtwagens met dodelijke afloop. Kantelen is een bijdragende factor bij 60% van de dodelijke slachtoffers, die bij ongevallen met vrachtwagens vallen.

Uit de literatuur over het kantelmechanisme bij vrachtwagens komt naar voren dat vrachtwagens voornamelijk problemen met kantelen ondervinden als zij een hoog zwaartepunt hebben (volle belading) en dan of met hoge snelheid door bochten rijden, of plotseling moeten uitwijken. De problemen nemen bovendien toe als de voertuigen geleed zijn, een groot aangrijpingsvlak voor dwarswind hebben, en een minder goed afgestemd remsysteem.

Bij de factoren die bij kantelen een rol spelen, zijn ‘hoge snelheid’, ‘ontwijken’ en ‘bochten’ oververtegenwoordigd. Ook harde wind is een belangrijke oorzaak van kantelen. Bij voertuigen met gevaarlijke stoffen is de kans op vervolgschade groot.

Aanbevolen wordt:

- kantelen als aparte categorie in de ongevallenregistratie op te nemen;
- een beperking van het verkeer in te stellen bij windstoten van meer dan 17 tot 20 m/s;
- voor vrachtwagenbestuurders aan te geven wat een veilige snelheid in bochten is (een kantelsensor in het voertuig wordt niet zinvol geacht, omdat dreigend kantelgevaar niet tijdig genoeg wordt aangegeven om nog te kunnen ingrijpen);
- in vrachtwagens automatische driepuntsgordels toe te passen, waarbij alle bevestigingspunten aan de stoel zitten;
- een minimum-overlevingsruimte voor de vrachtwagenbestuurder te creëren door toepassing van sterkere, op omslaan ontworpen cabines;
- kleppen en dergelijke aan te brengen binnen de omhulling van tankwagens (om het uitstromen van gevaarlijke stoffen bij ongevallen te voorkomen);
- vrachtwagens te voorzien van takelpunten of hijsogen om een berging na omslaan te vergemakkelijken;
- vervoerders te stimuleren kantelveilige voertuigen te gebruiken door middel van premiedifferentiatie en eigen risico; het uitsluiten van verzekering bij harde wind voor kantelgevoelige voertuigen is te overwegen.

# Summary

## **Overturning of lorries**

This report, based on the literature available, looks at how often lorries overturn, what the causes for this are, and what measures can be taken to prevent overturning. The research is based principally on literature from Western Europe and the United States.

In *Europe*, overturning occurs in 3% to 10% of all accidents involving lorries. In the transport of hazardous substances, approximately one third of the accidents entails overturning, a great number of these involving articulated lorries. In the *United States*, overturning occurs in 4% to 9% of all accidents involving lorries (including MDO accidents), in one third of single vehicle accidents with lorries, and in 15% of the fatal accidents with lorries. Overturning is a contributing factor in 60% of the fatalities resulting from accidents involving lorries.

The literature reporting the mechanical reasons for the overturning of lorries shows that most of these cases involve lorries with a high centre of gravity (when fully loaded) which then either take curves at high speeds or must swerve suddenly. Problems also increase if a vehicle is articulated, has a large wind surface, and/or has an inadequately tuned brake system.

Among the factors playing a role in overturning, 'high speed', 'swerving', and 'curves' are highly represented. High wind is an important cause in overturning. In vehicles carrying hazardous substances, the risk for consequential damage is high.

### Recommendations:

- Make overturning a separate category in the register on road traffic accidents.
- Impose a limitation on traffic during times when gusts of winds are higher than 17 to 20 m/s.
- Indicate a safe speed at which lorry drivers can take curves (a tipping sensor in the vehicle is not deemed advisable because the danger of overturning cannot be indicated fast enough to be able to take evasive action).
- Install automatic three point type seat belts in lorries, with all anchorages located on the seat.
- Create a minimal survival space for the lorry driver by building sturdier cabs which are designed to protect the driver in case of overturning.
- Introduce valves and other similar devices within the encasement of the tank lorries (to prevent the outflow of hazardous substances in case of accidents).
- Provide lorries with hoist points or crane hooks to simplify salvaging operations following overturning.
- Use premium differentiation and compulsory excess to stimulate hauliers to use vehicles less susceptible to overturning; vehicles susceptible to overturning could possibly be excluded from insurance coverage during high winds.

# Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	6
2.	<i>Het onderzoek</i>	7
3.	<i>Mechanisme van kantelen</i>	8
4.	<i>Ongevallen</i>	12
4.1.	Nederland	12
4.2.	Europa	12
4.3.	Verenigde Staten	13
4.4.	Modelberekeningen en kantelgevaar	15
5.	<i>Maatregelen</i>	17
5.1.	Algemeen	17
5.2.	Infrastructuur	17
5.3.	Voertuigen	17
5.4.	Wind	19
5.5.	Bestuurder	19
5.6.	Beperking gevolgen	19
5.7.	Voorwaarden	20
6.	<i>Discussie</i>	21
7.	<i>Conclusies en aanbevelingen</i>	23
	<i>Literatuur</i>	25
	<i>Bijlage Notitie J.E. Lindeijer (1997)</i>	27

# 1. Inleiding

Het Verbond van Verzekeraars heeft de SWOV verzocht een literatuurstudie te verrichten naar de mogelijkheden om ongevallen met kantelende vrachtwagens te voorkomen.

In het algemeen vormen ongevallen met vrachtwagens een probleem: uit het rapport *Kencijfers vrachtverkeer op Rijkswegen* blijkt dat op autosnelwegen het ongevalrisico bij vrachtwagens telkens hoger is dan dat risico bij lichte voertuigen (personen- en bestelwagens), vooral voor letselgevallen en vooral op drie- en vierstrooksautosnelwegen.

Een groot deel van de ongevallen waarbij één vrachtwagen betrokken is heeft te maken met kantelen. Kantelen kan het gevolg zijn van plotseling uitwijken, waarbij de wijze van belading en eventueel de afstemming van het remsysteem een rol speelt. Ook in bochten, zoals bijvoorbeeld in afritten, kan het voertuig door te hoge snelheid omslaan. Wind kan eveneens voor problemen zorgen, zowel in het hele land bij storm als op bruggen bij harde zijwind.

Gekantelde vrachtwagens kunnen oorzaak zijn van langdurige belemmering van de verkeersdoorstroming en daarmee gepaard gaande filevorming en kop/staart-botsingen (op autosnelwegen zelfs op beide rijbanen).

Het bergen van gekantelde vrachtwagens vergt inzet van zware mobiele kranen, die een lange aanrijtijd nodig hebben en die bovendien op- en afgetuigd moeten worden. Takelen is een moeizaam en langdurig karwei, ook al omdat de berging zonder extra schade moet gebeuren.

In deze rapportage wordt aan de hand van de literatuur nagegaan hoe vaak het voorkomt dat vrachtwagens kantelen, wat hiervan de oorzaken zijn en welke maatregelen tegen dit kantelen genomen kunnen worden.

Hiertoe wordt eerst ingegaan op de structuur van de rapportage (hoofdstuk 2); vervolgens wordt in hoofdstuk 3 het mechanisme van kantelen besproken en in hoofdstuk 4 gegevens over ongevallen met kantelende vrachtwagens. In hoofdstuk 5 worden enige modelberekeningen gepresenteerd en in hoofdstuk 6 worden diverse soorten maatregelen voorgesteld. Een discussie (hoofdstuk 7) en conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 8) ronden het geheel af.



## 2. Het onderzoek

Dit onderzoek is voornamelijk gebaseerd op literatuur uit West-Europa en de Verenigde Staten. Het accent is gelegd op mogelijke maatregelen om kantelen te voorkomen. Verder wordt ingegaan op omvang en oorzaken van ongevallen met gekantelde vrachtwagens.

Voor de weinige Europese literatuur is in deze rapportage van belang, omdat de omstandigheden, de wetgeving en de voertuigen in landen als Groot-Brittannië, Duitsland en Frankrijk goed te vergelijken zijn met de Nederlandse situatie. Gegevens uit de Verenigde Staten - vooral ongevallen-gegevens - zijn niet altijd zonder meer toepasbaar op Nederland en Europa: de wegen en de wetgeving zijn anders, evenals de registratiegraad van ongevallen met uitsluitend materiële schade (UMS-ongevallen), die hoger is vanwege verzekeringsvoorwaarden. Of dit verschil in registratiegraad ook geldt voor ongevallen met kantelen is de vraag: kantelen geeft vaak een geheel of gedeeltelijke versperring van de rijbaan. Het lijkt dan logisch te veronderstellen dat een dergelijk incident zeer vaak of bijna altijd geregistreerd wordt.

Ook wat de wijze van construeren van vrachtwagens betreft verschilt Europa van de Verenigde Staten: in Europa worden vrachtwagens bijna altijd als compleet chassis met cabine en mét opbouwvoorschriften geleverd. De diverse componenten zijn zorgvuldig op elkaar afgestemd en de uitrusting is door EEG-wetgeving tamelijk uniform. In de Verenigde Staten kiest een ondernemer zelf de samenstelling van zijn truck, waarbij de afstemming niet altijd gewaarborgd is. Bovendien verschilt de regelgeving van staat tot staat. Een voorbeeld: in een aantal staten in de VS hoeft een truck niet over remmen op de vooras te beschikken, iets wat in Europa ondenkbaar is. De basistheorieën over voertuigdynamica en bijvoorbeeld kantelen zijn uiteraard wel algemeen geldig.

Gegevens over ongevallen met gekantelde vrachtwagens in Nederland zijn niet zomaar uit de Verkeersongevallenregistratie (VOR) te halen: 'kantelen' is hierin zelfs niet als zodanig opgenomen. Ook is geen deelselectie van in aanmerking komende ongevallen mogelijk, omdat de enige in aanmerking komende registratievariabele 'eindsituatie, over de kop' bij ongevallen met vrachtwagens niet gebruikt wordt om kantelen te registreren. Op dit moment is ook onbekend of in de omschrijving op de ongevallenformulieren wel een verwijzing naar 'kantelen' voorkomt. 'Driebergen' (Korps Landelijke Politiediensten, divisie mobiliteit) beschikt evenmin over gegevens over kantelen.

Maatregelen om kantelen te voorkomen of om de gevolgen te verminderen zijn in deze studie geordend naar het beperkend effect dat zij hebben op de expositie (het aantal afgelegde kilometers), het kantelrisico, en de gevolgen van kantelen.

Specifiek voor 'kantelen' zullen met name de infrastructuur (bochten, afritten), het voertuig (stabiliteit), de bediening van het voertuig door de mens (instructie en training; hulpmiddelen) en omstandigheden (bijvoorbeeld wind) aan de orde komen.

Voor het tegengaan van de gevolgen van kantelen komen de overlevingsruimte (cabinesterkte, gordels) en verlies van lading (met name gevaarlijke stoffen) aan bod.

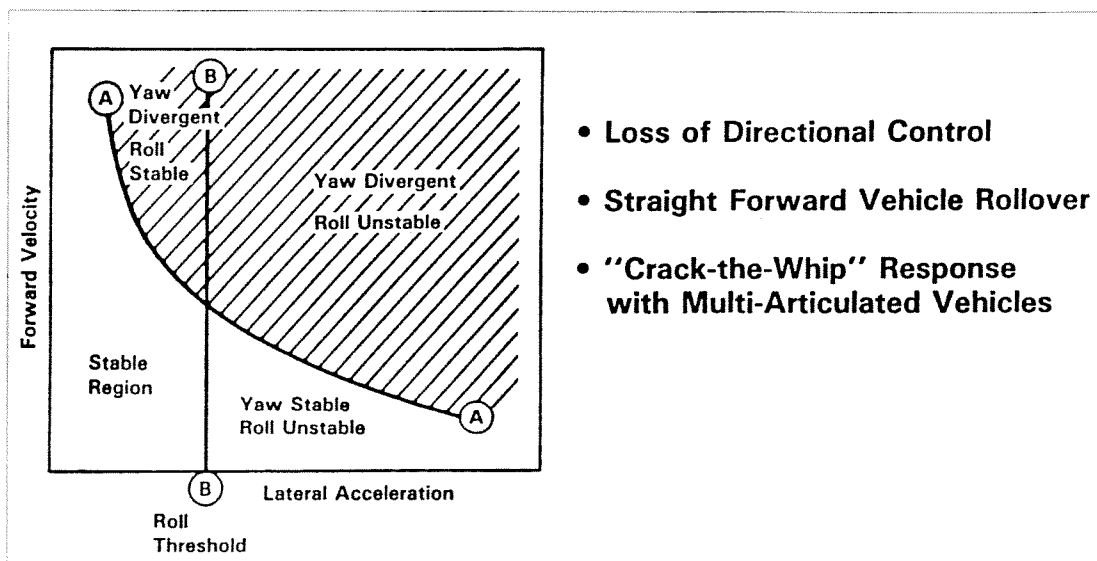
### 3. Mechanisme van kantelen

Voor de beschrijving van het kantelmechanisme bij vrachtwagens die hieronder volgt, is onder meer gebruik gemaakt van studies uit de Verenigde Staten, zoals Clarke e.a. (1987), Fancher & Mathew (1987) en Leasure (1986). De theoretische verhandelingen zijn ook geldig voor Europese vrachtwagens; de gegevens niet zonder meer.

De stabiliteit en de bediening van vrachtwagens bepalen in hoge mate hun verkeersonveiligheid; de bestuurder is immers sterk afhankelijk van het stuur- en remgedrag van het voertuig. We kunnen spreken van een goed dynamisch gedrag als het voertuig in reactie op stuurbewegingen de gewenste baan volgt, overeind blijft (dus niet kantelt), een nauwe bestreken baan volgt en niet oncontroleerbaar slingert. Er wordt beweerd dat slechts weinig (Amerikaanse) vrachtwagens hieraan voldoen.

Ieder voertuig heeft een kantelgrens of 'roldrempel', bepaald door gewicht en geometrie; een vrachtwagen kantelt als de versnelling in dwarsrichting groter is dan deze kantelgrens (*Afbeelding 1*). Dwarsversnellingen treden op bij:

- het nemen van bochten (statisch rollen);
- bepaalde manoeuvres zoals ontwijken (dynamisch rollen);
- wind in dwarsrichting.

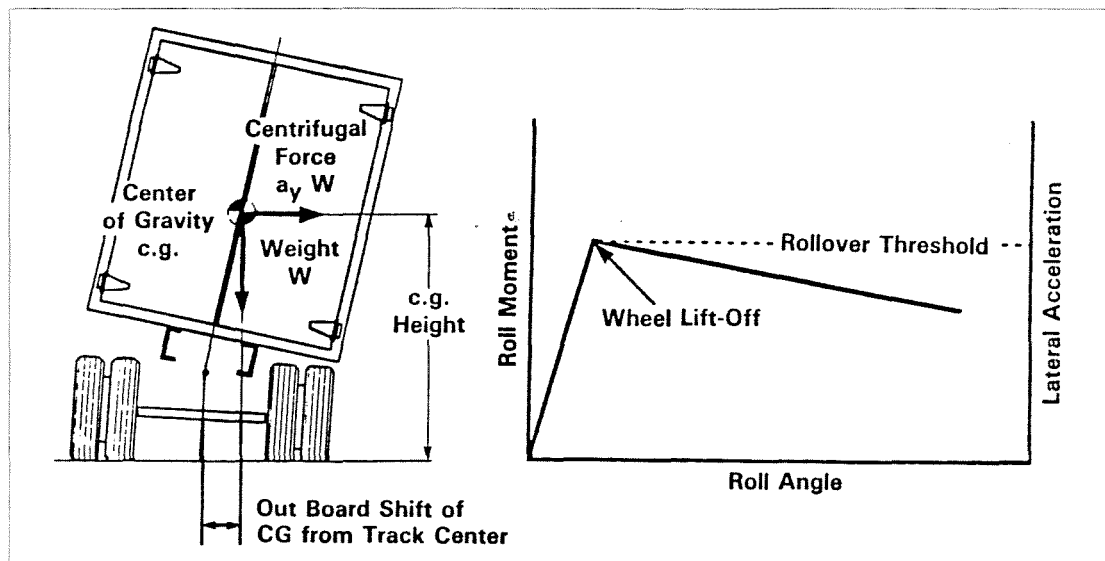


Afbeelding 1. Kantelgrens ('roldrempel').

Wanneer een voertuig een bocht beschrijft, ontstaat een buitenwaarts gerichte kracht op het zwaartepunt. Als deze kracht maar groot genoeg is, worden de wielen aan de binnenkant van de bocht van de grond getild en het voertuig slaat om. Deze kracht is onder meer afhankelijk van de snelheid van het voertuig, en de boogstraal en verkanting van de weg. Tegelijkertijd verplaatst het zwaartepunt zich naar buiten toe ten opzichte van de baan van het voertuig. Dit komt door de beweging van de opbouw om het rolcentrum

van de wielophanging. De kantelneiging wordt hierdoor versterkt (Afbeelding 2).

Het voertuig blijft stabiel zolang de dwarsversnelling niet groter is dan de piek in de curve in Afbeelding 2; bij overschrijding is het voertuig niet meer te houden en rolt om.



Afbeelding 2. Kantelmechanisme.

Bij ontwijkmanoeuvres wijkt het voertuig van het rechte pad af. De massa van opbouw en lading wil echter volharden in de oorspronkelijke bewegingsrichting. Hierdoor wordt een kantelmoment opgebouwd, dat onder meer afhankelijk is van het verschil tussen de grootte en de richting van de oorspronkelijke en de momentane snelheid, maar ook van andere dynamische eigenschappen van het voertuig, zoals de gierstabiliteit (stabiliteit om de hoogte-as).

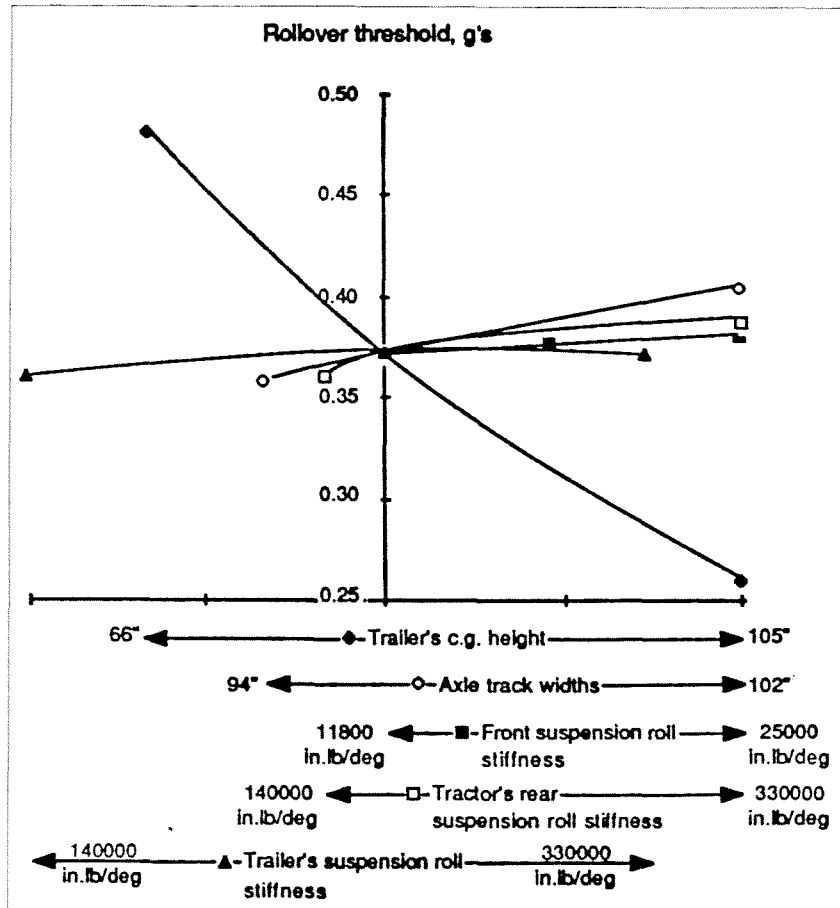
Bij wind werken er dwarskrachten op het zogenaamde drukpunt. De plaats van dit drukpunt wordt bepaald door de vormgeving en de aërodynamische eigenschappen van het voertuig. Vooral grote en hoge voertuigen, zoals bij volumevervoer, hebben een groot aangrijpingsvlak voor dwarswind.

Een aantal kenmerken van het voertuig beïnvloedt het rol- en kantelgedrag. Het voornaamste kenmerk is de verhouding tussen de halve spoorbreedte en de hoogte van het zwaartepunt, als het ware de weerstand tegen kantelen. De hoogte van het rolcentrum - de opbouw rolt om dit centrum - beïnvloedt voornamelijk de verplaatsing van het zwaartepunt naar de buitenkant. Hoe lager dit rolcentrum, des te meer dwarsverplaatsing van de afgeveerde massa. De hoogte van dit rolcentrum wordt bepaald door de veerstijfheid, de onderlinge afstand van de veren, eventuele extra stijfheid in de wielophanging (zoals torsiestaven), en de stijfheid van de banden.

Voor het voertuig als geheel speelt de verdeling van de stijfheden over de diverse wielophangingen een rol. Door het afstemmen van de vering van de trekker op die van de oplegger treedt bij kantelen een gelijke verzadiging van de ophanging op.

In Afbeelding 3 is de invloed van diverse parameters op de roldrempel weergegeven, gebaseerd op gegevens van Amerikaanse voertuigen. Te zien

is dat bijvoorbeeld een vergroting van de zwaartepuntshoogte van een oplegger leidt tot een sterke daling van de roldrempel (de weerstand tegen kantelen), terwijl een sterke verandering van de rolstijfheid bij de oplegger nauwelijks invloed heeft.



Afbeelding 3. Parameter gevoeligheidsdiagram: invloeden op de kantelgrens.

Uiteraard gelden deze verbanden voor Amerikaanse vrachtwagens. Bij gelede voertuigen kan door een te lichte demping van gierbewegingen een terugwaartse versterking van slingerbewegingen optreden, hetgeen kan bijdragen aan omslaan. Vooral in de Verenigde Staten vormt dit een probleem bij de daar toegelaten combinaties met meer dan één aanhanger of oplegger.

Omdat bij ontwijken vaak geremd zal worden, spelen ook de eigenschappen van het remsysteem een rol: bij gelede voertuigen zal door de vultijdvertraging de achterste as als laatste beremd worden (Tromp, 1992). Het getrokken materieel drukt het trekkende materieel op. Hierdoor zal de combinatie gaan scharen of uitbreken en neemt de kans op omslaan toe. Ook blokkeren van een of meer wielen kan hierbij een rol spelen.

Kantelen is typisch een probleem voor *beladen* voertuigen: het zwaartepunt ligt dan hoger. Ook de verings- en dempingseigenschappen variëren met de mate van belading; bij veel lading zal de vering sneller 'verzadigd' zijn.

In veel gevallen is de hoogte van de laadvloer al groter dan de halve spoorbreedte en is er sprake van potentiële instabiliteit. Vooral tankwagens en betonmixers kennen een hoge zwaartepuntsligging, terwijl hun vloeibare lading forse massaverplaatsingen in dwarsrichting kan opleveren. Ook de afstemming van trekkend en getrokken materieel is belangrijk, vooral indien het trekkend voertuig telkens andere opleggers of aanhangers met wisselende belading meeneemt. Ten slotte is de staat van onderhoud van belang: speling in veerpakketten en koppelschotels zal de kantelgrens verlagen.

Voor Amerikaanse vrachtwagens is de maximale waarde van de dwarsversnelling voordat kantelen zal optreden, ongeveer 0,4 g: voor een 'Straight Truck' 0,36 g, voor een 'Tractor and Semitrailer' 0,37 g en voor een 'Truck and Full Trailer' 0,41 g. Voor een typisch Europese trekker-oplegger ligt deze waarde rond de 0,36 tot 0,38 g, ongeveer gelijk dus.

Brown & Obenski (1990, VS) geven de volgende waarden van de weerstand tegen kantelen (= de spoorbreedte gedeeld door tweemaal de zwaartepunts-hoogte): instabiel: 0,8 - 1,0; marginaal stabiel: 1,0 - 1,2; stabiel: > 1,2.

Amerikaanse terreinwagens zijn bijna altijd instabiel. Voor een beladen Amerikaanse vrachtwagen wordt een waarde van 0,48 aangegeven, voor een Ford Schoolbus een waarde van 0,87.

Samengevat ondervinden vrachtwagens voornamelijk problemen met kantelen als zij een hoog zwaartepunt hebben (volle belading) en dan of met hoge snelheid door bochten rijden, of plotseling moeten uitwijken.

De problemen nemen bovendien toe als de voertuigen geleed zijn, een groot aangrijpingsvlak voor dwarswind hebben, en een minder goed afgestemd remsysteem.

## 4. Ongevallen

Dit hoofdstuk behandelt gegevens over het aandeel 'kantelen' bij ongevallen met vrachtwagens, over het aantal slachtoffers en over andere gevolgen. In het algemeen kunnen gekantelde vrachtwagens oorzaak zijn van langdurige belemmering van de doorstroming en daarmee gepaard gaande filevorming. Er kunnen dan extra ongevallen (voornamelijk kop/taartbotsingen) ontstaan.

### 4.1. Nederland

Lindeijer (1997) vermeldt in een interne SWOV-notitie ongevallen met over de kop gaan, scharen of kantelen. De gegevens komen uit het SWOV-bestand 'Aanvullende gegevens dodelijke ongevallen (AVG)'. Dit bestand is gebaseerd op de registratieformulieren van de Verkeersongevallenregistratie (VOR).

In de periode 1989 tot en met 1995 is sprake van 736 ongevallen met dodelijke afloop, waarbij één of meer motorvoertuigen over de kop zijn gegaan, gekanteld en/of geschaard. In 54 gevallen gaat het hierbij om ongevallen met gekantelde vrachtwagens.

Het kantelen van de meeste voertuigen (63%) op wegen met één rijbaan was het resultaat van reacties van de betreffende vrachtwagenchauffeur op onverwachte manoeuvres van ander verkeer of onverwachte verkeerssituaties, zoals andere voertuigen/voetgangers die zich in de baan van de vrachtwagen bevinden en ontweken moeten worden, of ander verkeer dat het vrachtoertuig frontaal dan wel in de flank aanrijdt.

Op autosnelwegen is deze situatie aan de orde bij iets minder dan de helft van de gekantelde vrachtwagens, te weten 46%.

De hier aangehaalde SWOV-notitie is opgenomen als *Bijlage* bij dit rapport.

### 4.2. Europa

Er zijn bijzonder weinig Europese gegevens over ongevallen met kantelen beschikbaar. Bovendien zijn deze weinige gegevens meestal oud.

In DOT (1995) worden gegevens vermeld over het aantal bij kantel-ongevallen betrokken voertuigen in Groot-Brittannië in 1994. Deze gegevens stammen uit de politieregistratie. Bij personenauto's is dit aandeel 2,3%, bij bestelwagens 3%, bij bussen 0,1%, bij solovrachtwagens 2,5% en bij gelede vrachtwagens 6,5%.

In Köfalvi (1991) worden op summere wijze enige gegevens over ongevallen met kantelen van vrachtwagens aangehaald: in Italiaans onderzoek uit 1970 wordt een aandeel vermeld van 6%, in Hongaars onderzoek uit 1982 een aandeel van 10,4% en in Brits onderzoek uit 1980 een aandeel van 3%.

Rompe & Heuser (1996) hebben in Duitsland 232 ernstige ongevallen met tankwagens voor gevaarlijke stoffen onderzocht, waarbij de tank beschadigd werd of het gevaar van beschadiging aanwezig was. Bij 44% van deze ongevallen was één voertuig betrokken en bij ongeveer 30% trad kantelen op. Bijna 70% van de totale verloren hoeveelheid gevaarlijke stoffen had betrekking op kantel-ongevallen. De gemiddelde snelheid vóór het omslaan

was ongeveer 50 km/uur, terwijl bij iets minder dan 30% van de gevallen de snelheid hoger is geweest dan 70 km/uur.

Afhankelijk van het type voertuig gebeurt het omslaan anderhalf tot tweemaal vaker naar rechts dan naar links. Dit laatste wordt echter niet verder toegelicht. Kennelijk is sprake van een a-symmetrisch effect. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat bij rechts verkeer in het algemeen de boogstraal in de baan van het voertuig bij bochten naar rechts kleiner is dan bij bochten naar links.

In Baker & Reynolds (1992) zijn ongevallen- en windgegevens vermeld uit Groot-Brittannië bij de storm (windkracht 12) van 25 januari 1990. Uit deze gegevens blijkt dat bij 47% van alle windongevallen omslaan optreedt. Bijna 90% van alle ongevallen vond plaats bij windstoten van meer dan 20 m/s.

#### 4.3. Verenigde Staten

Leasure (1986) en Clarke e.a. (1987) vermelden gegevens uit de Verenigde Staten: uit de BMCS- en NASS-ongevallenregistratie uit 1983 en onderzoeken uit Texas (1981-1983) en Washington (1981-1983). Kantelen van middelzware en zware vrachtwagens met een totale massa van meer dan 4,5 ton komt voor bij 4 tot 9% van alle geregistreerde ongevallen. Dit is dus inclusief UMS-ongevallen.

Eénderde van de eenzijdige ongevallen met een vrachtwagen heeft te maken met kantelen en 15% van de ongevallen met dodelijke afloop (FARS-registratie van dodelijke ongevallen uit 1983). Bij 60% van de dodelijke slachtoffers bij middelzware en zware vrachtwagens is kantelen een bijdragende factor.

Bepaalde gedragingen, zoals 'te hoge snelheid' en 'ontwijken', zijn oververtegenwoordigd bij omslaan, evenals schuivende lading en gebreken aan remmen en banden. Ook bij bochten is sprake van een forse oververtegenwoordiging van kantelongevallen: uit het onderzoek uit Texas blijkt dat 25,8% van de kantelongevallen en slechts 6,9% van *alle* ongevallen in bochten plaatsvindt; in het onderzoek uit Washington is dat maar liefst 54,5% kantelongevallen tegen 21,2% van *alle* ongevallen.

Uit *Tabel 1* blijkt dat gelede voertuigen een veel hoger aandeel in kantel-ongevallen hebben.

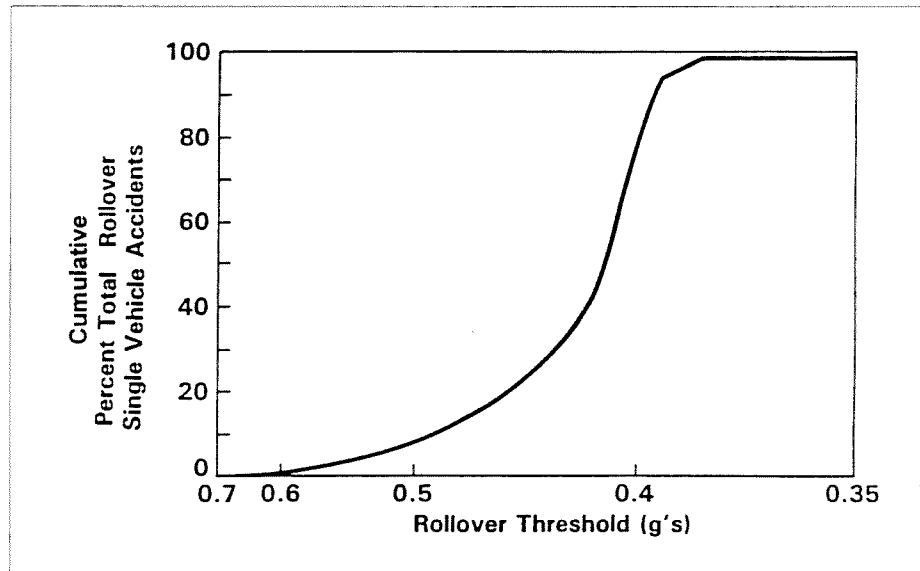
Washington 1981-1983	Vrachtwagen solo	Combinaties (inclusief 'doubles')
Eenzijdige ongevallen	23,8%	31,9%
Kantelongevallen	3,8%	7,6%

*Tabel 1. Eenzijdige en kantelongevallen bij solovrachtwagens en combinaties, inclusief combinaties met meer dan één oplegger of aanhanger (Clarke, 1987, VS).*

In *Afbeelding 4* is het verband tussen de maximaal mogelijke dwarsversnelling (de roldrempel, in g's) en het cumulatieve percentage kantel-ongevallen bij Amerikaanse vrachtwagens weergegeven.

Voor deze vrachtwagens is de maximale waarde van de dwarsversnelling voordat kantelen zal optreden, ongeveer 0,4 g. Juist rond deze waarde zijn

kleine veranderingen van grote invloed op de kans op een kantelongeval (zie ook *Afbeelding 3* in hoofdstuk 3).



Afbeelding 4. Het verband tussen de maximaal mogelijke dwarsversnelling (roldrempel, in g's) en het cumulatieve percentage kantelongevallen (USA) (Clarke, 1987).

In Campbell & Sullivan (1991, VS) is vermeld dat bij ongevallen met vrachtwagens 80% van de dodelijke slachtoffers valt bij ongevallen, waarbij maar één voertuig betrokken is geweest. Ongeveer één derde van alle slachtoffers bij ongevallen met vrachtwagens overleed na uit de cabine geslingerd te zijn. De helft hiervan kwam om bij ongevallen met kantelen. Zelfs indien gordels werden gedragen, was de kans op letsel bij omslaan nog altijd 50%; kennelijk is in veel gevallen de overlevingsruimte in de cabine niet voldoende.

Uit de hierboven beschreven - voor Europa summier - gegevens blijkt het volgende:

Kantelen is een typisch vrachtwagenprobleem; het komt tamelijk veel voor en de gevolgen voor bestuurders zijn vaak zeer ernstig. De factoren 'hoge snelheid', 'ontwijken' en 'bochten' zijn oververtegenwoordigd.

Ook harde wind is een belangrijke oorzaak van kantelen. Bij voertuigen met gevaarlijke stoffen is de kans op vervolgschade groot.

De belangrijkste gegevens kunnen als volgt worden samengevat:

- In Europa komt kantelen voor bij 3 tot 10% van alle ongevallen met vrachtwagens. Bij vervoer van gevaarlijke stoffen heeft ongeveer één derde te maken met kantelen (voornamelijk trekker-opleggers).
- In de Verenigde Staten komt kantelen voor bij 4 tot 9% van alle ongevallen met vrachtwagens (inclusief UMS-ongevallen) bij één derde van de eenzijdige ongevallen met vrachtwagens en bij 15% van de ongevallen met vrachtwagens met dodelijke afloop. Kantelen is een bijdragende factor bij 60% van de dodelijke slachtoffers, die bij ongevallen met vrachtwagens vallen.



Het kantelrisico is in bochten twee- tot viermaal hoger en het risico-verschil tussen solovoertuigen en gelede voertuigen is ongeveer een factor twee. Zelfs indien gordels gedragen worden, is de kans op letsel bij kantelen ongeveer 50%.

#### 4.4. Modelberekeningen en kantelgevaar

In Baker & Reynolds (1992, GB) is de kalibratie van het rekenmodel 'Blowover' beschreven. Dit model probeert de waarschijnlijkheid van omslaan aan de hand van de *windsnelheid* te voorspellen. De kalibratie heeft plaatsgevonden aan de hand van wind- en ongevalgegevens uit Groot-Brittannië bij de storm (windkracht 12) van 25 januari 1990.

Bij harde wind kan kantelen optreden, maar ook verplaatsing in dwarsrichting en rotatie om de hoogte-as. Vooral grote en hoge voertuigen zijn gevoelig voor wind, vooral indien hun massa relatief klein is. Dit is vaak het geval bij volumevervoer (matrassen, isolatiematerialen en dergelijke). Het bleek moeilijk te zijn om gegevens over de betrokken voertuigen te verkrijgen. Uiteindelijk zijn gedetailleerde gegevens verkregen over vijf voertuigen, waarvan er drie betrokken waren bij kantelongevallen; in deze drie gevallen bedroeg de voertuigmassa respectievelijk 7,5 ton, 16 ton en 19,5 ton.

Uit de modelberekeningen is onder meer gebleken dat lichtere voertuigen eerder omslaan. Zo dreigt bij een aanstroomhoek van 60 graden ( $0^\circ$  = wind recht van voren,  $90^\circ$  = zuivere dwarswind) een voertuig met een massa van 10.000 kg al boven een wind(stoot)snelheid van meer dan 22,5 m/s om te slaan, terwijl dat bij een voertuig van 25.000 kg pas boven 38 m/s zal optreden. Bijna 90% van alle windongevallen vond plaats bij windstoten van meer dan 20 m/s.

Aanbevolen wordt een beperking van het verkeer in te stellen bij windstoten van meer dan 17 tot 20 m/s. Opgemerkt wordt nog dat de uitgevoerde kalibratie nog enige beperkingen kent.

Kirkpatrick (1987, VS) beschrijft een berekening van de waarschijnlijkheid van het optreden van een ongeval met een kantelende vrachtwagen in *bochten*, afhankelijk van de boogstraal.

Allereerst is uit enkele andere onderzoeken de snelheidsverdeling in bochten met verschillende boogstralen verzameld. Hieruit is de optredende verdeling van de dwarsversnelling berekend. De cumulatieve verdeling van kantelongevallen tegen de dwarsversnelling is uit ander onderzoek bekend (Clarke (1987, VS), zie *Afbeelding 4*). Als roldrempel - de maximale waarde van de dwarsversnelling voordat kantelen zal optreden - is 0,4 g aangenomen. Vervolgens is de waarschijnlijkheid bepaald dat een overschrijding van deze 0,4 g plaatsvindt. Het aantal passages plus de kans op overschrijding van deze roldrempel geeft het aantal ongevallen in een bepaalde periode weer.

Conclusies uit deze berekeningen zijn onder andere dat het aantal passages voordat een kantel ongeval optreedt, bij personenauto's een factor 10.000 kleiner is dan bij vrachtwagens. De toename van het kantelrisico bij een afname van de boogstraal is sterk exponentieel (*Tabel 2*).

Locatie	Boogstraal	Passages vóór kantelongeval
Midwest	75	$1,6 \times 10^4$
	110	$3,5 \times 10^6$
	155	$1,4 \times 10^{11}$
	280	$1,9 \times 10^{20}$
East Coast	85	$1,7 \times 10^{10}$
	280	$1,6 \times 10^6$
	300	$4,3 \times 10^{10}$

Tabel 2. *Verband tussen boogstraal en het aantal vrachtwagenpassages voordat kantelen optreedt (Kirkpatrick, 1987, VS).*

Gebleken is dat de snelheid van vrachtwagens in bochten weliswaar lager is, maar niet voldoende lager om het grotere kantelrisico te compenseren.

## 5. Maatregelen

Er zijn drie typische situaties waarbij kantelproblemen optreden: in bochten, bij ontwijken en bij wind. In § 5.2, 'Infrastructuur', wordt ingegaan op mogelijke maatregelen bij bochten; § 5.3, 'Voertuigen' gaat in op ontwijken en § 5.4, 'Omstandigheden' behandelt de factor wind.

### 5.1. Algemeen

Als eerste wordt aanbevolen om kantelen als aparte categorie in de ongevallenregistratie op te nemen. Pas dan kan een goed inzicht ontstaan in de omvang en aard van dit probleem.

Verder geldt dat een beperking van het aantal verreden kilometers door een goede planning en een zo hoog mogelijke beladingsgraad direct het aantal ongevallen zal doen verminderen. Ook geldt dat een route over de meest veilige wegen (bijvoorbeeld autosnelwegen) het aantal ongevallen kan doen verminderen.

### 5.2. Infrastructuur

Bij bochten gaat het enerzijds om de boogstraal, anderzijds om de toelaatbare snelheid.

Uit Kirkpatrick (1987, VS) (zie hoofdstuk 4) zijn aan de hand van het aanvaardbaar geachte risico aanbevelingen voor de boogstraal af te leiden. In Perera e.a (1990, VS) is een rekenmethode beschreven om kritische snelheden van zware voertuigen op afritten te bepalen, waarbij ook omslaan is meegenomen. De (model)afritten bevatten bochten en hellingen.

Door het vervangen van de gegevens van Amerikaanse voertuigen door gegevens van Europese zijn deze twee methoden ook voor Europa bruikbaar. Op basis van dergelijke berekeningen kan een minimum boogstraal voorgeschreven of bij een bepaalde boogstraal een maximumsnelheid voor vrachtwagens berekend worden.

Deze maximumsnelheid (telkens voor vrachtwagens) kan voor potentieel gevaarlijke bochten:

- aangegeven worden door een algemeen advies voor snelheidsvermindering;
- weergegeven worden op een kaart;
- aangegeven worden langs de weg door middel van borden;
- afgedwongen worden door direct ingrijpen in het voertuig, bijvoorbeeld met behulp van een zender langs de weg.

### 5.3. Voertuigen

Bij vrachtwagens moet in de eerste plaats door middel van analyse van ongevallen en uit analyse van voertuigeigenschappen worden vastgesteld welke voertuigen min of meer sterke kantelneigingen vertonen.

Het bepalen van de kantelneiging van voertuigen kan gebeuren met een statische kanteltest (zie hieronder; Rompe & Heuser, 1996). Het dynamische gedrag kan worden vastgesteld door metingen bij het berijden van boogstralen (kantelgedrag in bochten) en door middel van de ISO-test 'wisselen van rijstrook' (Lane-Change).

De volgende maatregelen kunnen worden genomen om de kantelneiging van vrachtwagens te verminderen (zie onder andere Leasure, 1986 en Clarke, e.a., 1987):

- Het verlagen van de zwaartepuntshoogte, vooral in beladen toestand.
- Het vergroten van de spoorbreedte door bredere voertuigen en door het toepassen van enkele, brede banden (zogenaamde 'super singles') in plaats van dubbelluchtmontage.

Het verbreden van de voertuigen geeft grote infrastructurele problemen en is geen realistische oplossing.

Het toepassen van enkele, brede banden zorgt voor een toename van de belasting van het wegdek, maar uit berekeningen blijkt dat de baten voor de bedrijfstak ruim tweemaal zo hoog zijn als de extra kosten vanwege de toegenomen wegdekschade. Als deze banden echter ook op aangedreven assen zouden worden toegepast, dan leidt dit tot een forse toename van de wegdekschade (Vos, e.a., 1996). Bij de berekeningen zijn de eventuele baten van het verminderen van kantelen niet meegenomen. Volgens Vos e.a. (1996) is op dit moment al driekwart van het getrokken materieel voorzien van enkele, brede banden.

- Het optimaliseren van de eigenschappen van de ophanging, met name de hoogte van het rolcentrum en de verings- en dempingseigenschappen. Het vergroten van de veerstijfheid (door bijvoorbeeld de veren uit elkaar te zetten) is niet gunstig. Hierdoor wordt namelijk de rolhoek, waarbij een wiel van de grond komt, kleiner.
- Het optimaliseren van het onderhoud van de ophanging (opheffen van slijtage en speling).
- Het beter op elkaar afstemmen van trekkend en getrokken materieel, vooral bij vering en demping.
- Het verbeteren van de stabiliteit van gelede voertuigen bij het remmen, vooral bij plotselinge ontwijkmanoeuvres. Te denken valt aan anti-blokkeersystemen (ABS) en aan een beperking van de vultijdvertraging van remsystemen, zodat de achterste assen met minder vertraging beremd worden. ABS is in de EEG verplicht voor de zwaardere vrachtwagens, terwijl elektronische remsystemen - met een beperking van de vultijdvertraging van 0,6 naar 0,3 s (Lastauto Omnibus, 1996) - eind 1996 leverbaar zijn geworden.

In Rompe & Heuser (1996) worden aanbevelingen gedaan om het voertuiggedrag van tankwagens en tankopleggers voor gevaarlijke stoffen te verbeteren. Deze aanbevelingen kunnen ook van toepassing zijn op andere vrachtvoertuigen.

Een van de aanbevelingen is het toepassen van een statische kanteltest op een kantelbrug. Deze test levert wel hogere waarden op voor de kantelhoek en daarmee voor de mogelijke dwarsversnelling dan het rijden in een cirkelboog (maximaal 25%, overeenkomend met 0,1 g). Gesteld wordt dat vloeistofbewegingen geen invloed hebben op de kantelgrens (roldrempel) en dat daarom de statische test goed bruikbaar is. Het stellen van een grenswaarde voor de statische kanteltest (een minimale kantelhoek) wordt zinvol geacht.

De kantelhoek moet bij elke beladingstoestand minstens 25° bedragen, ook bij volledige of bij koplastige belading. Uit de tekst wordt overigens niet duidelijk of deze hoek van 25° voor statische of voor dynamische testen geldt; waarschijnlijk is de statische kantelhoek bedoeld.

Uit het onderzoek is gebleken dat het verschil in kantelstabiliteit tussen oudere tankvoertuigen (zonder verlaagd zwaartepunt) en de nieuwere voertuigen mét verlaagd zwaartepunt kleiner is dan oorspronkelijk verwacht. Bij de oudere voertuigen is de statische kantelhoek 19° tot 24° tegen 24° tot 26° voor de nieuwere voertuigen. Forse gewichtsbesparingen bij de nieuwere voertuigen en daarmee een grotere nuttige lading, worden als oorzaak genoemd.

Bij de nieuwere opleggers met verlaagd zwaartepunt is de rolstabiliteit beter. Ook de goede afstemming tussen trekker en oplegger is belangrijk.

Vermeld wordt dat zelfsturende naloop-assen minder gunstig zijn dan starre as-opstellingen: zij lopen meer naar buiten bij het berijden van cirkelbogen en kennen een minder goede stabiliteit in langsrichting bij uitwijkmanoeuvres.

Ook is nog een kosten/baten-analyse van maatregelen bij tankwagens voor gevaarlijke stoffen opgesteld. Hierbij zijn als baten alleen de gevolgen voor 'ongevallen' en 'milieu' beschouwd.

Het hoogste scoort een verlaging van het zwaartepunt, gevolgd door een kantelsensor en door maatregelen aan de tank.

#### 5.4. **Wind**

Dwarswind is een probleem voor hoge en relatief lichte vrachtwagens. Het verbeteren van de stroomlijn - altijd in langsrichting - gebeurt meestal alleen vanwege het brandstofverbruik en kan negatieve gevolgen hebben voor het voertuiggedrag bij dwarswind. In windtunnels kan het aërodynamisch gedrag in dwarsrichting worden vastgesteld.

In Pritchard (1985) wordt een eenvoudige berekeningswijze van de toelaatbare voertuigsnelheid bij een gegeven windsnelheid voorgesteld. De berekeningen zijn voornamelijk bedoeld voor toepassing bij bruggen. In Baker & Reynolds (1992; zie hoofdstuk 4) wordt aanbevolen een beperking van het verkeer in te stellen bij windstoten van meer dan 17 tot 20 m/s. Met het model 'Blowover' kunnen voor lokale situaties berekeningen worden uitgevoerd.

#### 5.5. **Bestuurder**

Bij maatregelen voor de bestuurder valt te denken aan instructie en training om meer kennis en beheersing van het voertuig bij te brengen.

Het gaat dan met name om het herkennen van situaties waarbij kantelgevaar aanwezig is: scherpe bochten, plotseling uitwijken en harde wind. Voor 'bochten' en 'wind' is het kennen en herkennen van lokale situaties van belang, voor 'uitwijken' een anticiperend rijgedrag en voor 'wind' ook nog inzicht in weersvoorspellingen.

Ondersteunende hulpmiddelen kunnen zijn: een kantelsensor in het voertuig, een lokale waarschuwing langs de weg, een lokale waarschuwing in het voertuig getoond, en automatisch ingrijpen op de snelheid.

Rompe & Heuser (1996) beschouwen een kantelsensor alleen zinvol indien bestuurder enige seconden van te voren wordt gewaarschuwd voor dreigend kantelgevaar (zie verder hoofdstuk 6).

## 5.6. Beperking gevolgen

Bij veel ongevallen met kantelende vrachtwagens wordt de bestuurder uit het voertuig geslingerd of wordt de cabine ingedrukt, met eventueel beknelling tot gevolg. Het dragen van gordels is zeer effectief tegen uitslingeren. In steeds meer vrachtwagens worden automatische driepuntsgordels toegepast, waarbij ook het bovenste bevestigingspunt aan de stoel zit. Hiervoor zijn extra versterkingen in stoel en cabinevloer aangebracht. Comfortproblemen met verende stoelen en zichzelf steeds strakker rollende gordels zijn hiermee verleden tijd.

Het handhaven van een minimum-overlevingsruimte is een ander punt. Campbell & Sullivan (1991, VS) vermelden dat de kans op letsel bij omslaan nog altijd 50% was, zelfs indien gordels werden gedragen. Kennelijk is in veel gevallen de overlevingsruimte in de cabine van Amerikaanse vrachtwagens niet voldoende.

Of dit ook voor Europese vrachtwagens geldt, is niet bekend. Weliswaar wordt veel gebruik gemaakt van de zogenaamde 'Zwedentest' om de sterkte van de cabine te bepalen, maar of dit relevante informatie levert voor de overlevingsruimte na kantelgevallen is niet bekend.

In Grzebieta & Dayawansa (1987) zijn modelberekeningen opgenomen om de cabinesterkte te bepalen en in Girvan, Cheng & Khatua (1994) zijn simulaties opgenomen van het gedrag van inzittenden bij omslaan.

In Tonnesen (1991) en in Rompe & Heuser (1996) worden aanbevelingen gedaan om het uitstromen van gevaarlijke stoffen bij ongevallen met tankwagens te voorkomen. Het gaat dan onder meer om het aanbrengen van kleppen en dergelijke binnen de omhulling van de tank.

Als laatste punt verdient het aanbevelingen vrachtwagens te voorzien van takelpunten of hijsogen om een berging na het omslaan te vergemakkelijken. Deze berging kan dan sneller en zonder extra schade gebeuren.

## 5.7. Voorwaarden

Het voorkomen van ongevallen - dus ook van ongevallen met kantelen - kan gestimuleerd worden door gunstige premies van verzekeringen als vervoerders investeren in kantelveilige vrachtwagens. Het verstrekken van subsidies door de Nederlandse of Europese overheid en het geven van voorlichting zijn andere mogelijkheden.

Het invoeren van een eigen risico of zelfs het uitsluiten van verzekering bij harde wind voor kantelgevoelige voertuigen (zoals bij volumevervoer) is te overwegen.

## 6. Discussie

In de Verkeersongevallenregistratie van AVV/BG (VOR) ontbreekt 'kantelen' als aparte variabele. De enige in aanmerking komende omschrijving is 'eindsituatie: over de kop': in 1994 is dit bij ongevallen op autosnelwegen slechts drie keer ingevuld. Als er al in de omschrijving op de ongevallenformulieren een verwijzing naar 'kantelen' voorkomt, vereist het achterhalen van het aantal ongevallen met kantelen bijzonder veel handwerk. In 1994 zijn op autosnelwegen ongeveer 2.000 ongevallen met vrachtwagens (letsel + UMS) gebeurd.

Als een aandeel kantelongevallen van 3 tot 10% ook voor Nederland zou gelden, dan betekent dit circa 60 tot 200 kantelongevallen met vrachtwagens per jaar, alleen al op autosnelwegen.

Alleen voor ongevallen met dodelijke afloop beschikt de SWOV over een bestand met aanvullende gegevens. Daaruit is afgeleid dat er per jaar in Nederland ongeveer negen dodelijke ongevallen met een kantelende vrachtwagen plaatsvinden.

Er zijn in de literatuur veel meer gegevens uit de Verenigde Staten dan uit Europa. Het is mogelijk dat het kantelprobleem in de Verenigde Staten groter is en dat er daardoor meer aandacht voor is. Ook is het mogelijk dat juist door deze aandacht het probleem kleiner is geworden. Hoe dan ook, in Europa en ook in Nederland is voor het kantelprobleem tot nu toe weinig aandacht geweest. Wel worden in de dagelijkse filemeldingen opvallend vaak omgeslagen vrachtwagens genoemd.

Zoals wel vaker is geconstateerd (ABS; ZOAB) wordt bij verbeteringen een deel van de veiligheidswinst teniet gedaan door compensatiemechanismen. Bij verwachtingen van het effect van nieuwe maatregelen is dit belangrijk. Uit het onderzoek van Rompe & Heuser (1996; hoofdstuk 5) is gebleken dat het verschil in kantelstabiliteit tussen oudere tankvoertuigen (zonder verlaagd zwaartepunt) en de nieuwere voertuigen mét verlaagd zwaartepunt kleiner is dan oorspronkelijk verwacht. Forse gewichtsbesparingen bij de nieuwere voertuigen en daarmee een grotere nuttige lading, worden als oorzaak genoemd.

Het gedrag van een voertuig wordt door de steeds betere ophanging van de cabines (trillingsisolatie) steeds minder goed te voelen. Het toepassen van een kantelsensor met een signalering in de cabine lijkt een aardige oplossing maar kent zijn beperkingen: een dergelijke sensor moet enige seconden van tevoren waarschuwen voor dreigend kantelgevaar om de bestuurder in staat te stellen in te grijpen. Bij plotselinge ontwijkmanoeuvres of bij het ingaan van een bocht met te hoge snelheid is dit niet meer mogelijk.

Een kantelsensor kan in een instructie-situatie wel dienen om bestuurders enig inzicht bij te brengen in het voertuiggedrag. Door de grote spreiding in de kanteleigenschappen van vrachtwagens, vooral door wisselende combinaties van trekkers en opleggers en door verschillen in beladingsgraad, heeft dit echter beperkte waarde.

Als verbeterde voertuigeigenschappen vanwege kantelen ingevoerd zullen worden, zal een combinatieprobleem ontstaan. Trekkend materieel wordt sneller vervangen dan getrokken materieel. Deze oudere aanhangers en

opleggers lopen dan achter bij de nieuwe ontwikkelingen. Het is dan ook van groot belang om aandacht te besteden aan de eigenschappen van deze combinaties van voertuigen.



## 7. Conclusies en aanbevelingen

### 1. Registratie

Aanbevolen wordt om kantelen als aparte categorie in de ongevalregistratie op te nemen. Pas dan kan een goed inzicht ontstaan in de omvang en aard van dit probleem in Nederland.

### 2. Problemen

Vrachtwagens ondervinden vooral bij volle belading problemen met kantelen als zij met hoge snelheid door bochten rijden of plotseling uitwijken. De problemen nemen toe als de voertuigen geleed zijn, een groot aangrijpingsvlak voor dwarswind hebben, en een minder goed afgestemd remsysteem.

### 3. Ongevallen

In Nederland zijn in de periode 1989 tot en met 1995 736 ongevallen met dodelijke afloop gebeurd, waarbij één of meer motorvoertuigen over de kop zijn gegaan, gekanteld en/of geschaard. Hiervan zijn 54 ongevallen met gekantelde vrachtwagens.

Volgens summiere, wat oudere gegevens komt in *Europa* kantelen voor bij 3 tot 10% van alle ongevallen met vrachtwagens.

In de *Verenigde Staten* zijn meer en recentere gegevens beschikbaar: hier is het aandeel kantelonegevallen met vrachtwagens 4 - 9% van alle ongevallen (letsel + UMS) en 15% van de ongevallen met dodelijke afloop.

Het kantelrisico is in bochten twee tot vier maal hoger dan op rechte weggedeelten; het risicoverschil tussen solovoertuigen en gelede voertuigen is ongeveer een factor twee.

Als een aandeel kantelonegevallen van 3 tot 10% ook voor Nederland zou gelden, dan betekent dit alleen al op autosnelwegen ongeveer 60 tot 200 kantelonegevallen met vrachtwagens per jaar. Gemiddeld gebeuren er per jaar 8 kantelonegevallen met vrachtwagens met dodelijke afloop.

### 4. Bochten

Er zijn rekenmethoden beschikbaar voor het bepalen van een minimum boogstraal of een maximumsnelheid voor vrachtwagens in bochten.

Deze maximumsnelheid - telkens voor vrachtwagens - kan worden weergegeven op een kaart met gevaarlijke bochten of direct langs de weg door middel van borden. Ook het afdwingen door direct ingrijpen in het voertuig is een mogelijkheid.

### 5. Voertuigen

Uit analyse van ongevallen en voertuigeigenschappen volgt welke voertuigtypen kantelneigingen vertonen.

Het bepalen van deze kantelneiging kan gebeuren met een statische kanteltest (goedkoop) of op dynamische wijze (precies).

De belangrijkste maatregelen aan het voertuig zijn:

- Het verlagen van de zwaartepuntshoogte, vooral in beladen toestand.
- Het vergroten van de spoorbreedte door het toepassen van enkele, brede banden (zogenaamde 'super singles'), echter alleen op niet-aangedreven assen vanwege extra wegdekschade.
- Het op elkaar afstemmen van trekkend en getrokken materieel.

- Het verbeteren van de stabiliteit van gelede voertuigen bij het remmen door het toepassen van anti-blokkeersystemen (ABS) en elektronische remsystemen.

#### *6. Wind*

Aanbevolen wordt een beperking van het verkeer in te stellen bij windstoten van meer dan 17 tot 20 m/s. Voor lokale situaties (voornamelijk bruggen) kunnen berekeningen worden uitgevoerd.

#### *7. Bestuurder*

Essentieel is het herkennen van situaties waarbij kantelgevaar aanwezig is: kennis van lokale situaties en een anticiperend rijgedrag speelt hierbij een rol. Het op een of andere wijze aangeven van een veilige snelheid in bochten is een goed hulpmiddel om kantelen te voorkomen. Een kantelsensor in het voertuig wordt niet zinvol geacht, omdat dreigend kantelgevaar niet tijdig genoeg wordt aangegeven om nog te kunnen ingrijpen.

#### *8. Beperking gevolgen*

Het dragen van gordels is zeer effectief tegen uitslingeren. Om het dragen te bevorderen moeten automatische driepuntsgordels worden toegepast, waarbij alle bevestigingspunten aan de stoel zitten.

Het handhaven van een minimum overlevingsruimte door sterkere, op omslaan ontworpen cabines zal het aantal slachtoffers kunnen beperken. Om het uitstromen van gevaarlijke stoffen bij ongevallen met tankwagens te voorkomen, moeten kleppen en dergelijke binnen de omhulling van de tank aangebracht zijn.

Aanbevolen wordt vrachtwagens te voorzien van takelpunten of hijsogen om een berging na omslaan te vergemakkelijken.

#### *9. Voorwaarden*

Premiedifferentiatie en eigen risico zijn belangrijke instrumenten om vervoerders te stimuleren kantelveilige voertuigen te gebruiken.

Het uitsluiten van verzekering bij harde wind voor kantelgevoelige voertuigen is te overwegen.

## Literatuur

- Baker C.J. & Reynolds, S. (1992). *Wind-induced accidents of road vehicles*. *Accident Analysis and Prevention* 24 (1992) 6: 559-575.
- Brown, J.F. & Obenski, K.S. (1990). *Forensic Engineering Reconstruction of Accidents*. Thomas, Springfield, 1990.
- Campbell, K.L. & Sullivan, K. P. (1991). *Heavy Truck Cab Safety Study*. In: 35th Stapp Car Crash Conference. SAE P-251, 1991.
- Clarke, R.M., Leasure, W.A., Radlinsky, R.W. & Smith, M. (1987). *Heavy Truck Safety Study*. NHTSA, 1987.
- DOT (1995). *Road accidents in Great Britain 1994; The Casualty Report*. Department of Transport, 1995.
- Fancher, P.S. & Mathew, A. (1987). *Using a Vehicle Dynamics Handbook as a Tool for Improving the Steering and Braking Performance of Heavy Trucks*. In: *Automotive Crash Avoidance Research*, Congress. Society of American Engineers SP-699, 1987.
- Girvan, D.S., Cheng, L.Y. & Khatua, T.P. (1994). *Application of the MADYMO program in heavy truck crashworthiness*. Proceedings 5th international MADYMO user' meeting, 1994.
- Grzebieta, R.H. & Dayawansa, P.H. (1987). *Roll Over Analysis of a Truck Cabin Frame*. *Structural Crashworthiness and Property Damage Accidents*, Seminar Proceedings, Monash University, 1987.
- Köfalvi, G. (1991). *Turnover of commercial vehicles examination improving those under way stability characteristics*. Proceedings 2th int. conf. on new ways for improved road safety and quality of life, Tel Aviv, Israel, 1991.
- Lastauto Omnibus (1996). *Feuer und Flamme: Technik: Neue Bremsensysteme*. *Lastauto Omnibus* 73 (1996)12: 24 - 26.
- Leasure, W.A. (1986). *Bijdrage aan: Truck Safety - An Agenda for the Future*. Society of Automotive Engineers, P-181, 1986.
- Lindeijer, J.E. (1997). *Kantelende vrachtwagencombinaties*. Interne notitie. SWOV, Leidschendam.
- Perera, H.S., Ross, H.E. & Humes G.T. (1990). *Methodology for Estimating Safe Operating Speeds for Heavy Trucks and Combination Vehicles on Interchange Ramps*. *Transportation Research Record* 1280, 1990.
- Pritchard, J.R. (1985). *Wind Effects on High Sided Vehicles*. *Journal of Highways and Transportation*, april 1985.
- Rompe, K. (1991). *Experimental Accident Simulation for Improved Safety of Tank Vehicles for Dangerous Goods*. Proceedings of 13th ESV-Conference, Paris, 1991.

Rompe, K. & Heuser, G. (1996). *THESEUS - Tankfahrzeuge mit höchsterreichbarer Sicherheit durch experimentelle Unfallsimulation*. *Automobiltechnische Zeitschrift* 98 (1996) 3: 154 - 161.

Sweatman, P. (1986). Bijdrage aan: *Truck Safety - An Agenda for the Future*. Society of Automotive Engineers, P-181, 1986.

Tonnesen, H.E. (1991). *Environment and Nature Protection Related Integrated Tanker Safety*. Proceedings of 13th ESV-Conference, Paris, 1991.

Tromp, J.P.M. (1988). *Ongevallen met zware voertuigen*. R-88-30. SWOV, Leidschendam.

Tromp, J.P.M. (1992). *Remsystemen van zware voertuigen*. R-92-6. SWOV, Leidschendam.

Tromp, J.P.M. (te verschijnen). *Kencijfers vrachtwagens op Rijkswegen*. SWOV, Leidschendam.

Vos, E., Henny, R.J., Swart, J.H. & Zeilmaker, J. (1996). *Baten voor vervoerders zijn hoger dan extra kosten infrastructuur*. *Wegen* 70 (1996) 10: 4-9.

# Bijlage Notitie J.E. Lindeijer (1997)

## KANTELENDE VRACHTWAGENCOMBINATIES

(J.E. Lindeijer, april 1997)

### 1. Achtergrond

Uit het SWOV-bestand 'aanvullende gegevens dodelijke ongevallen (AVG)' zijn voor de jaren 1989 t/m 1995 ongevallen geselecteerd waarvan minstens één motorvoertuig tijdens het ongevalsgebeuren over de kop is gegaan, geschaard is en/of gekanteld.

De keuze voor deze jaren is arbitrair en voornamelijk gebaseerd op de direct beschikbare 'extra' gegevens.

Uit deze groep ongevallen zijn vervolgens alleen ongevallen nader geanalyseerd, waarbij een vrachtwagen(combinatie)/trekker met oplegger wel/niet is geschaard en daarna wel/niet is gekanteld. Bij de analyse is gebruik gemaakt van de omschrijving van het ongeval ('toedracht') zoals de politie die heeft kunnen reconstrueren en/of aan de hand van de gefaseerde codering van het ongevalsgebeuren.

### 2. Werkwijze

Met een eenvoudig computerprogramma is de eerste selectie op het SWOV-bestand uitgevoerd op basis van de 'uitgevoerde beweging' (codes: 23 en/of 99 = kantelen/scharen) en/of 'manoeuvrediagram' (code 91 = kantelen/over de kop). Op grond van deze selectie is vastgesteld of de omvang van het fenomeen een nadere analyse verantwoord maakte.

Nadeel van deze keuze is dat daarmee alle motorvoertuigen die 'over de kop' gingen in de selectie terecht kwamen. Met de hand zijn de relevante ongevallen met een vrachtwagen(combinatie)/trekker met oplegger geselecteerd.

In géén van de geselecteerde ongevallen bleek meer dan één vrachtvoertuig gekanteld. Dat betekent dat het gevonden aantal ongevallen gelijk is aan het aantal geschaarde/gekantelde voertuigen.

Het **ontstaan** van het ongevalsgebeuren - voor de betrokken vrachtwagenbestuurder - is naar de volgende groepen onderscheiden:

- *Invloed van ander verkeer.* Bijvoorbeeld: vrachtwagenbestuurder wijkt uit voor een onverwachte manoeuvre van ander verkeer dan wel tracht ander verkeer/ongeval te ontwijken.
- *Infrastructuur en/of wegomgeving.* Invloed van bochten, zachte berm langs rechte wegvakken e.d.
- *Weersomstandigheden.*
- *Restgroep.*

Bij de **afloop** van het ongeval is onderscheid gemaakt in:

- *Wegtype.* Autosnelwegen met gescheiden rijbanen (Tabel 2) tegenover provinciale wegen/autowegen zonder gescheiden rijbanen (Tabel 1).
- *Plaats.* Het gekantelde voertuig is wel/niet op de weg (rijbaan/-strook) blijven liggen.

### 3. Resultaten

In de periode 1989 t/m 1995 is er sprake van minstens 736 ongevallen met dodelijke afloop, waarbij één of meer motorvoertuigen over de kop zijn gegaan, gekanteld en/of geschaard. Ca. 8% daarvan (n=59) betreffen ongevallen met geschaarde en/of gekantelde vrachtwagen(combinaties)/trekker met oplegger (verder 'kantelongevallen' genoemd).

Het kantelen van de meeste voertuigen (63%, zie Tabel 1) op wegen met één rijbaan was het resultaat van reacties van de betreffende vrachtwagenchauffeur op onverwachte manoeuvres van ander verkeer of onverwachte verkeerssituaties, zoals: het ontwijken van andere voertuigen/voet-gangers of omdat

het vrachtoertuig frontaal/in de flank is aangereden door ander verkeer. Op autosnelwegen is dat iets minder dan de helft, nl. 46% (zie Tabel 2)

In de hierna gepresenteerde tabellen is tussen haakjes het aantal voertuigen aangegeven dat alleen geschaard is; dus niet gekanteld. Bijvoorbeeld: in tabel 1 - bij de rubriek 'ontwijken ander verkeer' - blijken van de 10 voertuigen er 7 gekanteld en 3 alleen geschaard. In totaal blijken van de 59 voertuigen de meeste te kantelen, nl. 92%.

Op autosnelwegen blijft 88% van de betreffende voertuigen op de weg, waardoor één of meerdere rijstroken worden geblokkeerd. In drie ongevallen op autosnelwegen is het voertuig over de middenberm gekanteld en kwam gedeeltelijk op de linkerrijstrook van het tegemoetkomende verkeer terecht. Op wegen met één rijbaan eindigt ongeveer 60% op de weg.

Opvallend is dat in de gevallen dat een vrachtwagenbestuurder 'door onbekende reden' met één of meer wielen in de berm komt op wegen met één rijbaan (op rechte wegvakken) ze op één na allen in de berm kantelen, maar op wegen met twee rijbanen de meesten toch weer op de rijbaan terug komen en daar kantelen.

De volgende 'groepen en sub-groepen' ongevallen zijn in de tabellen onderscheiden:

1. Aanleiding: ander verkeer

- *Frontaal*: vrachtwagen(combinatie) wordt door een tegenligger frontaal of in de flank aangereden en/of de bestuurder tracht de aanrijding te voorkomen (alleen Tabel 1);
- *Ontwijken*: door ontwijken van ander verkeer, schaart en/of kantelt het voertuig. Afhankelijk of de vrachtwagen wel/niet op de weg blijft, rijdt ander verkeer op de stilstaande/liggende vrachtwagen in (Tabel 1 en 2).
- *Kop/staart-aanrijding* (Tabel 2).

2. Aanleiding: berm en/of bocht

- *Bocht naar links*, gezien de rijrichting van de chauffeur. Bij deze ongevallen is de chauffeur recht door gereden en in de berm gekanteld en/of door een abrupte stuurbeweging weer op de weg gekomen en daar gekanteld (Tabel 1 en 2).
- *Bocht naar rechts*, gezien de rijrichting van de chauffeur. In een bocht naar rechts is de vrachtwagen rechtdoor gereden en op de tegengestelde rijstrook in botsing gekomen met ander verkeer (Tabel 1).
- *Recht wegvak*. In deze gevallen zijn eerst een aantal wielen in de berm gekomen, waarna de chauffeur een abrupte stuurbeweging heeft gemaakt, waardoor de wagen schaarde/kantelde en wel/niet op de weg terecht kwam (Tabel 1 en 2).
- *Keren*. Op een kruising van twee wegen is een vrachtwagencombinatie gekeerd en gekanteld (Tabel 1). Eén keer kwam dat op een autosnelweg voor (Tabel 2). Nadat de chauffeur rechts in de berm terecht komt, schaart het voertuig en komt tegen de rijrichting op de linker rijstrook. De bestuurder rijdt eerst ca. 100 meter op linkerrijstrook als spookrijder om vervolgens de combinatie te keren. Daarbij komt hij voor de tweede keer met het trekkende voertuig vast te zitten in de berm en blokkeert het getrokken voertuig beide rijstroken.

3. Overig

- *Losgeraakte aanhanger*: aanhanger schiet los en kantelt voor tegemoetkomend verkeer (Tabel 1).
- *Weersomstandigheden*: ter plaatse had het verkeer last van hevige rukwinden (Tabel 1).
- *Voertuig op vluchtstrook*: pech-voertuig wordt aangereden door vrachtwagen (Tabel 1 en 2).
- *Inrijden op file*: bestuurder vrachtwagencombinatie rijdt in op file (Tabel 1 en 2).

directe aanleiding tot scharen en/of kantelen	stilstand van gekanteld voertuig (tussen haakjes alleen geschaard)		totaal
	op de weg	van de weg	
frontaal aangereiden	4	4	8
ontwijken ander verkeer	10(3)	4	14(3)
in bocht naar rechts	3	-	3
in bocht naar links	-	1	1
rechte weg	1	4	5
keren	1	-	1
inrijden op file	1	-	1
slecht weer: storm, rukwinden	-	1	1
aanhanger schiet los	1	-	1
totaal	21(3)	14	35(3)

Tabel 1. Kantelongevallen met dodelijke afloop op provinciale-/autowegen (één rijbaan) in 1989 t/m 1995, onderverdeeld naar directe aanleiding en plaats waar voertuig tot stilstand kwam. (Bron: SWOV-bestand dodelijke ongevallen).

directe aanleiding tot scharen en/of kantelen	stilstand van gekanteld voertuig (tussen haakjes alleen geschaard)		totaal
	op de weg	van de weg	
ontwijken ander verkeer *	11	-	11
kop/staart (geen file)**	1	-	1
bocht naar links	2(1)	2	4(1)
rechte weg*	4	1	5
keren	(1)		(1)
ingereden op file	1	-	1
tegen voertuig op vluchtstrook	1	-	1
totaal	21(2)	3	24(2)
* In de groepen 'ontwijken' en 'rechte weg' kantelen resp. twee en één voertuig over de middenberm.			
** Kop/staart: betreft aanrijding door snelheidsverschil op rechter rijstrook.			

Tabel 2. Kantelongevallen met dodelijke afloop op autosnelwegen (minstens twee rijbanen) in 1992 t/m 1995, onderverdeeld naar directe aanleiding en plaats waar voertuig tot stilstand kwam. (Bron: SWOV-bestand dodelijke ongevallen).